Überreicht vom Verfasser

Sonderdruck aus „**Morphologisches Jahrbuch**“ Bd. 70, Heft 3/4, 1932.
Diese Arbeit erscheint gleichzeitig in
„**Beiträge zur Anatomie funktioneller Systeme**“ Band 1.

(Aus dem Anatomischen Institut zu Kiel.)

Vergleichende Elastizitätsmessungen am Bandapparat der Zähne.

Von

Bruno Voss
Zahnarzt.

Mit 3 Abbildungen im Text.

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig.

Die folgenden Untersuchungen stellen sich zur Aufgabe, vergleichende Elastizitätsmessungen am Bandapparat der Zähne vorzunehmen.

Wir wissen, daß die kollagenen Fasern praktisch nicht dehnbar sind. Die Dehnbarkeit von etwa 4%, die Triepel an Sehnen gemessen hat, beruht nach Nauck zum größten Teil auf dem Ausgleich der Wellung der Sehnenfaserbündel. Wenn trotzdem bei entsprechend starker Belastung der Zahn in die Alveole um einen meßbaren Betrag eingedrückt werden kann, so kann das nicht auf der Dehnung der kollagenen Fasern des Periodontiums beruhen. Auch sind die Faserbündel des Periodontiums kaum gewellt, deshalb kann die Nachgiebigkeit auch nicht allein dem Ausgleich der Wellungen zugeschoben werden. Es bleibt nur übrig anzunehmen, daß die in den Maschen des Faserwerkes befindliche Flüssigkeit bei genügend starkem und genügend langem Druck ausgepreßt wird und alsdann beim Nachlassen des Druckes wieder nachströmt. Es wäre dies zugleich eine Pumpwirkung für die Durchsaftung des Periodontiums und für die Begünstigung des Blut- und Lymphstromes in der ganzen Alveole.

Daß ein solches Abpressen von Flüssigkeit bei starkem Druck an sich möglich ist, wurde von Bär gezeigt. Bei hohem, länger dauerndem Druck auf einen umschriebenen Fleck des Gelenkknorpels bildete sich eine kleine Delle, die nur beruhen konnte auf

einer örtlichen Verschiebung von Flüssigkeiten. Nach Aufhören des Druckes wurde die Delle allmählich wieder ausgeglichen. Es fand sich also eine elastische Nachwirkung, die jedoch ausblieb, wenn der gleiche Druck nur als Stoß wirkte. In diesem Falle war die Elastizität vollkommen. Bär wies auch darauf hin, daß die geringe Höhe der Zwischenwirbelscheiben beim Menschen am Abend auf einem ähnlichen Vorgang beruhen müsse. Wir haben hier offenbar einen Mechanismus vor uns, dem eine prinzipielle Bedeutung in der Mechanik des Tierkörpers zukommt. Etwas Ähnliches muß auch beim Periodontium vorliegen.

Es fehlen allerdings histologische Untersuchungen, die diesen Gesichtspunkt berücksichtigen. Sie hätten zu zeigen, wie die straffen Periodontiumfasern zu den Gewebsspalten, den Blut- und Lymphgefäßen liegen oder umgekehrt, und wie es möglich ist, durch Auspressen dieser Spalten die Periodontiumfaserung zu verlängern. Nach Analogie mit anderen Beobachtungen ist daran zu denken, daß ein spitzwinkliges Maschensystem vorliegt. Es müßten Abweichungen von der geraden Verbindung zwischen Alveole und Zahn durch die Blutgefäße und Lymphgefäßspalten erzeugt werden, dann könnte beim Auspressen der Spalten eine Verlängerung des Aufhängebandes möglich sein.

So vermutet auch Wedl, daß die von den Gefäßen gebildeten eigenartig angeordneten Gefäßknäule in den Gefäßnervenspalten auf plötzlichen Druck sich langsam entleeren, dann beim Nachlassen des Druckes sich wieder füllen und so im Zusammenhang mit der Funktion der Wurzelhaut stehen. Er vergleicht sie mit hydraulischen Bremsen, die die Funktion der Sharpeyschen Fasern unterstützen sollen.

Euler sieht in dem ausgedehnten Lymphspaltennetz entlang der Alveole ein elastisches Kissen, das die Gewebe vor Schädigung durch zu plötzlichen Druck bewahrt.

Weski sieht das Periodontium sogar als eine geschlossene Gelenkhöhle an, deren Abschluß das Ligamentum circulare bildet, das aus zahlreichen fibrösen Bündeln besteht, deren Aufgabe es ist, teils den Stoß des Kaudruckes aufzufangen und teils die Gelenkverbindung zwischen Zahn und Knochen aufrechtzuerhalten.

Die Elastizität des Zahnes ist also meßbar in diesem geschlossenen System als Komponente aus der Stoßwirkung gegen den Zahn, als Stempel und gleichzeitiger Spanner der Faserbündel, sowie aus der Gegenwirkung der federnden, mit kolloidaler Flüssig-

keit gefüllten Kissen in den Fasernetzspalten. — Demgegenüber spielen die Elastizität der sehr harten Alveolenwand sowie die der Zahnmasse selbst wohl kaum eine meßbare Rolle.

Wir erwarten also bei länger andauerndem Druck eine elastische Nachwirkung am Periodontium. Dieses ist auch durch die Versuche von Heinroth an den Zähnen Lebender erwiesen. Heinroth benutzte dazu ein von ihm eigens entworfenes Mikroelastometer, welches durch seine Hebelanordnung ein Ausweichen des Zahnes um 1/100 mm als eine Zeigerverschiebung von 1 mm sichtbar macht. Gleichzeitig zeichnet der Schreibhebel auf eine rotierende Trommel auf, in welchem Maße der Bandapparat während der gewählten Belastungszeit von 15 Sekunden nachgibt und wieweit er sich nach Entlastung in weiteren 15 Sekunden seinem Ausgangswert, der dem Nullwert der Skala entspricht, zu nähern vermag. Er sieht die so erhaltenen Kurven als ein Spiegelbild der Funktionstüchtigkeit der Befestigungsmittel an und fordert auf, solche elastometrische Untersuchungen auf breitester Basis vorzunehmen und die Resultate einer Zentralstelle mitzuteilen. Er hofft, daß aus diesen Beobachtungen bald Resultate gefunden werden, um eine Kontrolle zu gewinnen über den Erfolg therapeutischer und prothetischer Maßnahmen des Zahnarztes.

Es sind auch an anderen Geweben der Bindesubstanzgruppe Elastizitätsmessungen ausgeführt worden, so von Göcke an Knorpeln und atrophischen Knochen. Er fand 1. starke Verminderung der Bruchfestigkeit an atrophischen Knochen um mehr als die Hälfte und 2. Verminderung der Elastizität um den halben Betrag des Knochens jüngerer Menschen. Schade teilte 1912 seine Ergebnisse über die Messungen des Bindegewebes mittels seines selbstkonstruierten Elastometers mit, die durch diesen Apparat automatisch in Kurven auf eine rotierende Trommel aufgezeichnet wurden. Kluge und Trendtel arbeiteten mit dem neuen Taschenelastometer von Schade, das als Einheit den Elastizitätsverlust in der Zeiteinheit hat und ihn in Prozenten, bezogen auf vollkommene Elastizität = 100 angibt.

Alle diese Forscher haben festgestellt, daß bei Flüssigkeitsverlust der Gewebe die Elastizität derselben eine geringere ist. Bei längerer Belastung der Gewebe findet als Pufferungsvorgang ein Abpressen von Flüssigkeit statt. Bei lebendem Gewebe können sich die Verhältnisse ändern durch die Mitwirkung von nervösen Einflüssen und die verschiedene Konstitution des Untersuchungs-

objekts. Bei kurzdauernder Belastung müßte die Elastizität vollkommen sein, selbst wenn der Druck groß ist. Unsere Versuche haben dies gezeigt.

Es stellte sich aber weiterhin die Frage, ob der elastische Widerstand des Periodontiums bei allen Zähnen und in allen Richtungen der gleiche ist und ob nicht feinere Anpassungen an den Kauakt und die Artikulation vorliegen. Mit diesen Fragen beschäftigt sich die vorliegende Untersuchung. Wir haben uns ohne Erfolg bemüht, unsere Meßmethoden so auszugestalten, daß sie auch an Lebenden anwendbar waren. Wir müssen uns also auf totes und fixiertes Material beschränken. Es hatte schon Bär gezeigt, daß im elastischen Verhalten von frischen und fixierten Gelenkknorpeln kein grundsätzlicher Unterschied besteht, besonders wenn es sich, wie hier, um Vergleichsmessungen handelt. Da wir nur Vergleichsmessungen zwischen einzelnen Zähnen angestellt haben und absolute Werte nicht ermittelten, so dürfte der Nachteil des toten Materials ausgeschaltet sein.

Bei den folgenden Versuchsreihen wurden die zu untersuchenden Kiefer vorher in Alkohol fixiert und während der Messung mit getränkten Tüchern bedeckt gehalten. Statt einer Dauerbelastung wurde eine annähernd dem Kauakt entsprechende Belastung von $^1/_2$ Sekunde gewählt, um einen Elastizitätsverlust durch Verminderung von Gewebsflüssigkeit zu verhindern. Weiter sollte eine Überlastung durch zu hohe Drucke auch bei kurz aufeinanderfolgenden Meßdrucken vermieden werden. Die Elastizitätsmessung auf Zug aus der Alveole heraus wurde als unphysiologisch ausgeschaltet und nur Belastung des Zahnes durch senkrechten Druck und Kippdruck von lingual und bukkal vorgesehen.

Vorversuch (Kippdruck).

Das Bestreben, die Meßresultate in übersichtlicher Kurve darzustellen, führte zunächst zu folgendem Vorversuch:

Die Zähne des Kiefers I wurden mit senkrechten Bohrlöchern versehen, wobei zentral die Kronenpulpa eröffnet werden mußte. Dann wurde ein Stab aus Silberstahl von 1000 mm Länge und $1^1/_2$ mm Durchmesser mit dem einen Ende in den zu messenden Zahn durch schnellhärtenden Solila-Zement festgesetzt. Am freien Ende des genau senkrecht stehenden Stabes befand sich eine Rolle, an der eine Federwaage mit dem Lasthaken befestigt wurde. Nun

wurde im rechten Winkel zum Stahlstab unter einem konstanten Zug der Federwaage von ¼, ½, 1 bzw. 1½ kg eine Kreisbewegung um den federnden Stab ausgeführt. Es wurde also die Zahnachse durch den Stab verlängert und die Kippung nach allen Richtungen hin geprüft. Ein Schreibstift, der an der Federwaage befestigt worden war, zeichnete für den Kippdruck eine Kurve auf einen in gleicher Höhe angebrachten Zeichenkarton. Diese Zeichenfläche war mit einer Öffnung von ca. 4 cm Durchmesser versehen, um Platz für den Stab und dessen federndes Nachgeben zu lassen. Der Durchgangspunkt des Stabes durch die Zeichenebene war der Nullpunkt des Achsenkreuzes der Kurve. Er lag also senkrecht über dem Angriffspunkt des Stabes am Zahn. Das Achsenkreuz lag parallel zur mittleren Kauebene und war nach der Mittellinie des Kiefers orientiert (siehe Abb. 1).

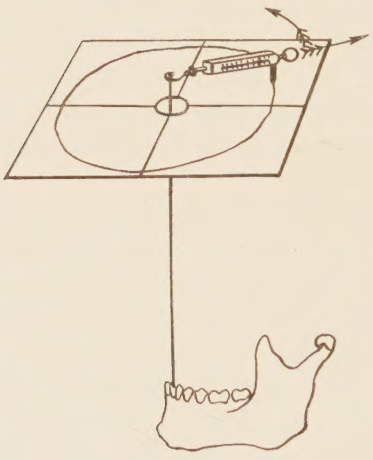

Abb. 1.
Versuchsanordnung zur Messung des Kippdruckes (Vorversuch).

Es wurde erwartet, daß die verschiedene Elastizität der Zähne auf Kippdruck sich durch die Größe der Kurve unterscheiden würde und der Unterschied am Bandapparat des einzelnen Zahnes durch Ausbuchtungen bzw. Einziehungen an der kreisförmigen Kurve zu erkennen sein würde. Die Kurven ließen auch Abweichungen auf ca. ⅓ Kreisbogen um etwa 3—4 mm erkennen. Da aber in dem Aufbau dieser Apparatur viele Fehlerquellen vorhanden sind, z. B. in der Fixierung des Kiefers, der Befestigung des verhältnismäßig langen Stabes im Zahn, der Anbohrung der Pulpa und der durch Handzug betätigten Federwaage, konnten diese Messungen nicht befriedigen und nur ein Vorversuch für exaktere Messungen sein.

Es ist aber immerhin interessant, daß schon bei dieser rohen Methode zu erkennen war, daß die Kurven der Zähne des Unterkiefers I nach lingual eine Ausbuchtung haben, ausgenommen die Eckzähne. Daß also die Unterkieferzähne einer Kippung nach lingual einen höheren elastischen Widerstand entgegensetzten als in den anderen Richtungen, besonders nach bukkal.

Nun befaßte ich mich wieder mit den in der Literatur beschriebenen Elastometern.

Wegen ihrer verhältnismäßig langen Belastungszeit waren die Elastometer von HEINROTH wie das von SCHADE für unsere Versuche ungeeignet. Die Elastizität ist bei unserm Objekt mit einem ballistischem Elastometer wie das GILDEMEISTERsche, das BÄR schon 1926 für Gelenkknorpelmessungen benutzte, besser meßbar, weil kein Elastizitätsverlust infolge Abpressens der interfaszikulären Flüssigkeit eintreten kann. Die nun beschriebenen Messungen wurden also mit dem Elastometer von GILDEMEISTER vorgenommen, jedoch statt des großen Hammers (42,64 g) ein kleiner (25,18 g) mit spitz auslaufenden Enden verwandt.

Es war zunächst sehr schwierig, auf den Kauflächen der Zähne Kontaktflächen herzustellen, die nur bis zu 10% Fehler ergeben durften. Die von BÄR benutzten Pelotten zeigten sich bei den höckerigen Zahnflächen als gänzlich ungeeignet. Graphit- und Metallstaubanstrich hatten zu geringe Leitfähigkeit. Stanniol- oder Amalgambelag hafteten nicht fest am Schmelz und ergaben deshalb zu große Differenzen zwischen aufeinanderfolgenden Werten. Stahlplättchen mußten auch verworfen werden, weil wegen der Unzuverlässigkeit des Kontaktes auf solchen gekrümmten Zahnflächen kein vernünftiger Wert zu erhalten war.

Es wurden erst bessere Werte erzielt, als Stahlschräubchen verwendet wurden, die wie beim Vorversuch in vorgebohrte Löcher der Kauflächen einzementiert wurden. Nach langwierigen Vorversuchen gelang es endlich, die Fehlergrenze auf 10% herabzudrücken. Als Fehlerquellen wurden erkannt:

Durch Erschütterung hervorgerufene Kontaktfehler. Zur Beseitigung wurden alle Drahtverbindungen mit Schaltern, Pendel und Zahn mit Tinnol verlötet.

Die Widerstände sowie das hochempfindliche Spiegelgalvanometer wurden auf einen andern Tisch gestellt.

Es wurden nur in den Abendstunden Messungen vorgenommen, um Störungen durch Gebäudeerschütterungen infolge des Straßenverkehrs auszuschalten.

Die gerade Meßskala wurde durch eine kreisförmige ersetzt, deren Durchmesser 1 m betrug. Die Spiegelachse des Galvanometers befindet sich im Zentrum des Kreises. Die Skalengrade sind Winkelgrade, $1^0 = 17{,}4$ mm.

Versuch I.

Es wurde nun zunächst der Kippdruck von bukkal nach lingual gemessen, der Hammerschlag traf also die bukkale Oberkante. Es wurde der gleiche Kiefer I wie beim Vorversuch benutzt. Die Stahlschräubchen wurden mit Solila-Zement in die vorgebohrten Löcher eingesetzt, nachdem sie untereinander mit seideumsponnenen Drähten verbunden und die Kontaktstellen verlötet waren. Das Pendel schlug aus der Entfernung 150 mm nach Ausschalten des Elektromagneten auf die Kontaktschraube des Zahnes. Beim Zurückschnellen wurde das Pendel aufgefangen und wieder durch den Magneten in der Ausgangsstellung fixiert.

Der erste Zeigerausschlag wurde nicht gemessen, sondern nur die beiden folgenden wurden abgelesen und in die Tabelle einge-

Tabelle I. Kippdruckmessungen auf di

Kiefer I, linke Seite						Obe
	13,5 11,7	9,5 8,1	8,7 7,6	7,9 6,8	11,1 8,9	14,5 13,8
	13,6 11,8	9,6 8,4	8,7 7,7	7,7 6,7	11,1 8,9	14,3 13,9
	13,4 11,6	9,5 8,2	8,7 7,5	7,7 6,7	11,3 9,2	14,3 13,9
	13,4 11,6	9,5 8,2	8,6 7,4	7,7 6,7	11,2 9,1	14,3 13,9
Zahn	13,5 11,7	9,4 8,1	8,7 7,6	7,8 6,8	11,1 9,0	14,4 13,8
fehlt.	13,4 11,6	9,6 8,4	8,7 7,6	7,7 6,7	11,3 9,2	14,4 13,8
	13,3 11,5	9,4 8,1	8,7 7,6	7,7 6,8	11,2 9,1	14,4 13,8
	13,3 11,5	9,5 8,2	8,7 7,6	7,8 6,7	11,4 9,4	14,5 13,8
	13,4 11,6	9,5 8,2	8,6 7,5	7,7 6,7	11,2 9,2	14,5 13,8
	13,3 11,5	9,6 8,4	8,6 7,5	7,8 6,7	11,3 9,2	14,3 13,9
	12,5	8,9	8,1	7,2	10,2	14,1
			im Mittel			
VIII. Zahn	VII. Zahn	VI. Zahn	V. Zahn	III. Zahn	II. Zahn	I. Zahn
			im Mittel			
13,9	11,9	11,6	12,4	9,6	10,8	10,8
15,0 12,8	13,0 11,0	12,5 10,7	13,3 11,5	10,7 8,3	11,5 10,0	11,5 10,
15,2 13,0	13,0 11,0	12,5 10,6	13,5 11,6	11,0 8,5	11,5 10,0	11,5 10,
14,9 12,7	12,7 10,8	12,5 10,6	13,4 11,5	10,8 8,4	11,5 10,0	11,5 10,
15,0 12,8	13,0 11,0	12,6 10,8	13,3 11,4	10,6 8,3	11,5 10,0	11,5 10,
15,0 12,8	12,9 10,9	12,6 10,8	13,3 11,4	11,0 8,5	11,5 10,0	11,5 10,
14,9 12,7	12,9 10,9	12,5 10,7	13,2 11,3	10,7 8,3	11,5 10,0	11,5 10,
15,0 12,8	13,0 11,0	12,5 10,6	13,3 11,5	10,8 8,4	11,5 10,0	11,5 10,
14,8 12,7	13,0 11,0	12,7 10,8	13,2 11,3	10,5 8,2	11,5 10,0	11,5 10,
15,0 12,8	12,8 10,8	12,5 10,6	13,3 11,5	10,8 8,3	11,5 10,0	11,5 10,
14,9 12,7	12,9 10,9	12,6 10,7	13,4 11,4	11,0 8,5	11,5 10,0	11,5 10,

Unt

tragen. An jedem Zahn wurden 10 solcher Kippdruckmessungen von bukkal aus gemacht. Von lingual aus ließen sich wegen der Größe des Pendels aus technischen Gründen keine Messungen machen.

In folgender Tabelle 1 stehen die zwei Meßzahlen einer Messung nebeneinander. Der Durchschnittswert der zehn Messungen pro Zahn ist errechnet und daruntergeschrieben. Die auf eine Stelle hinter dem Komma abgerundeten Durchschnittswerte von Ober- und Unterkiefer sind dann einander gegenübergestellt. Sie stehen in der Mitte der Tabelle. Die Zahlen von I—VIII bezeichnen die Zähne beider Kiefer.

Als Resultate sind zu erkennen:

ukkale Zahnkante. Tabelle I.

iefer	Kiefer I, rechte Seite							
14,5 13,8	14,0 13,4	8,7 7,6	8,5 8,3	8,8 8,3	9,5 8,1	11,5 10,0	11,0 8,5
14,5 13,8	14,0 13,4	8,7 7,6	8,8 8,3	8,8 8,3	9,5 8,1	11,5 10,0	11,0 8,5
14,5 13,8	14,0 13,4	8,6 7,5	8,8 8,3	8,7 8,4	9,6 8,4	11,5 10,0	10,8 8,3
14,5 13,8	13,8 13,5	8,6 7,4	8,8 8,3	8,7 8,4	9,5 8,2	11,2 10,3	10,5 8,2
14,5 13,8	14,0 13,4	8,6 7,4	9,0 8,5	8,7 8,4	9,5 8,2	11,2 10,3	10,8 8,4
14,5 13,8	14,0 13,4	8,7 7,6	8,8 8,3	8,8 8,3	9,4 8,1	11,5 10,0	10,7 8,3
14,5 13,8	13,9 13,5	8,7 7,6	8,8 8,3	8,9 8,2	9,6 8,4	11,5 10,0	11,0 8,5
14,5 13,8	13,9 13,5	8,7 7,6	8,9 8,2	8,9 8,2	9,4 8,1	11,7 9,8	10,6 8,3
14,5 13,8	13,9 13,5	8,6 7,5	8,9 8,2	8,9 8,2	9,5 8,2	11,5 10,0	10,8 8,4
14,3 13,9	14,0 13,4	8,6 7,5	8,8 8,3	8,8 8,3	9,6 8,4	11,5 10,0	10,7 8,3
14,1	13,7	8,1	8,5	8,5	8,9	10,8	9,6
				im Mittel			
I. Zahn	II. Zahn	III. Zahn	IV. Zahn	V. Zahn	VI. Zahn	VII. Zahn	VIII. Zahn
				im Mittel			
10,8	10,8	8,0	—	10,6	11,6	9,6	9,7
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5		11,3 9,6	12,5 14,4	10,3 8,5	10,4 8,8
1,5 10,0	11,5 10,0	8,4 7,5		11,3 9,6	12,6 10,6	10,3 8,6	10,5 8,7
1,5 10,0	11,5 10,0	8,4 7,5		11,5 9,9	12,5 10,4	10,4 8,5	10,4 8,8
1,5 10,0	11,5 10,0	8,3 7,3		11,3 9,6	12,7 10,8	10,4 8,7	10,5 8,9
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5	Nicht	11,5 9,9	12,6 10,7	10,5 9,0	10,5 9,0
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5	meßbar	11,6 9,9	12,6 10,7	10,5 9,0	10,5 8,9
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5		11,5 9,8	12,5 10,5	10,4 8,8	10,4 8,9
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5		11,5 9,8	12,4 10,4	10,6 9,0	10,4 8,9
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5		11,3 9,7	12,5 10,6	10,5 9,0	10,6 9,1
1,5 10,0	11,5 10,0	8,5 7,5		11,4 9,8	12,5 10,6	10,4 8,8	10,5 9,0

efer

Bei Kippung von bukkal nach lingual zeigen die Eckzähne den größten elastischen Widerstand, dieses ist verständlich, da sie als Reißzahn wirken.

Darauf folgen die unteren Schneidezähne. Bereits die erste Versuchsreihe zeigte, daß die Schneidezähne des Unterkiefers einer Kippung nach lingual einen größeren elastischen Widerstand entgegensetzten als nach bukkal. Da im Unterkiefer bei dem physiologischen Überbiß besonders die Schneidezähne auf Kippung nach lingual am meisten beansprucht werden, so muß eine Anpassung des Periodontiums in dem Sinne bestehen, daß dieser normalen Kippung der größte Widerstand entgegengesetzt wird.

Den geringsten elastischen Widerstand weisen die oberen Schneidezähne auf. Aus technischen Gründen konnte beim Oberkiefer nur die Kippung nach lingual geprüft werden, in umgekehrter Richtung war der Versuch nicht möglich. Der auffallend geringe elastische Widerstand gegen Kippung nach lingual bedeutet keine Schwächung des Zahnbogens, da in dieser Richtung durch den Überbiß keine wesentliche Beanspruchung stattfindet. Alle anderen Werte bei den Oberkieferschneidezähnen, die später beschrieben werden, sind größer, so ist zu erwarten, daß auch das Periodontium der Oberkieferzähne in Richtung der stärksten Beanspruchung (also nach bukkal) den stärksten Widerstand bietet.

Die Backenzähne im Unterkiefer geben nach lingual einen größeren Ausschlag als im Oberkiefer, es fehlt ihnen die lingual gelegene Stütze, welche die Oberkieferzähne in Gestalt der dritten Wurzel besitzen.

Nach diesen Messungen des Kippdruckes wurde nun zu

Messungen des senkrechten Druckes

übergegangen. Die Erfahrung aus den vorhergegangenen Messungen sowie die Überlegung sagte uns schon, daß an verschiedenen Punkten der Kaufläche, entsprechend ihrer Lage zum Bandapparat bzw. den Wurzelspitzen, auch durch die unterschiedliche Wurzelform und Stellung verschiedene Werte erzielt werden müßten. Deswegen mußte für diese Messungen noch eine breitere Kontaktfläche geschaffen werden. Ich modellierte dafür aus Wachs eine Kappenschiene mit ebener Kaufläche und goß sie in Egglers Silberine. Dann zerschnitt ich sie in die einzelnen Kappen, lötete die Zuleitungsdrähte fest und zementierte sie auf die zugehörigen Zähne mit Solila-Zement. Bei diesen Messungen mußte die Versuchs-

anordnung noch wieder etwas abgeändert werden. Herrn Prof. Zahn bin ich für einige Anleitungen hierfür zu Dank verpflichtet.

1. Es wurde ein Dämpfungskreis eingeführt, um eine schnellere Meßreihenfolge zu erzielen.

2. Es wurde durch Gleitstöpsel aus dem an der Batterie angeschlossenen Stöpsel-Rheostaten mit 1000 Ohm Widerstand der für den Ausschlag des Spiegelgalvanometers nötige Strom entnommen, um den Stromverlust der Batterie praktisch gleich Null zu machen und auf diese Weise vergleichbare Werte zu erzielen.

3. Sämtliche Leitungskontakte wurden mit Tinnol verlötet.

4. Vor das sehr empfindliche Drehspulgalvanometer von Hachmann und Braun wurde ein Widerstand von 10 Ohm und 5 Ohm eingeschaltet.

5. Die Ablesung erfolgte wie vorher mittels Lichtzeigers an einer Kreisskala von 1 m Durchmesser. Der Mittelpunkt der Skala ist der Drehpunkt des Spiegelgalvanometers.

6. Um nun das Pendel in ein solches mit ca. $\frac{1}{2}$ Sekunde Schwingungsdauer umzuwandeln, veränderte ich das von Bär benutzte Pendel. Durch Verlegung des Drehpunktes und Befestigung des großen Pendelgewichtes ans frei werdende Ende erhielt ich ein physisches Pendel. Die Vergrößerung der Pendelmaße (großer Hammer 247.64 g, kleiner Hammer 25.18 g) vergrößerte das Beharrungsvermögen beträchtlich, während die Schwingungszeit verlängert wurde. Durch diese Änderung sollte eine längere Kontaktdauer und eine Milderung des Stoßes erzielt werden.

Der Aufbau der Apparatur ist aus Abb. 2 ersichtlich.

Diese Anordnung erwies sich als außerordentlich günstig. Die Fehlergrenze sank. Die Werte waren von der 3. Messung an konstant. Bei den ersten beiden Messungen mußte erst durch die Pendelspitze eine eingedellte Aufschlagstelle geschaffen werden, die dann gleichzeitig zur Markierung der Aufschlagstelle diente.

Auf Abb. 3 sind die Auftreffpunkte des Pendels aufgezeichnet und gleichzeitig auf die Kaufläche von Kiefer II und III projiziert. In der Abbildung sind beide Kieferhälften einander gegenübergestellt, wobei der Oberkiefer in der Aufsicht und der Unterkiefer in der Durchsicht gedacht sind. Im Unterkiefer sind die Kauflächen also derart aufgeführt, wie sie die Werte im Oberkiefer überdecken würden. In gleicher Weise sind die Meßresultate in Tabelle II und III angeordnet. Es sind dies die Mittelwerte aus drei Messungen nach zwei voraufgegangenen Blindmessungen.

Aus den Messungen kann man ersehen, daß frei stehende Zähne, ohne Gegenbiß, am nachgiebigsten sind. Es lehrt die Erfahrung, daß diese Zähne länger werden, also aus der Alveole heraus und in die Zahnlücke des Gegenkiefers geschoben werden, als suchten sie einen Antagonisten. Hierbei müssen im Zahnbett Umbauten stattfinden, die offenbar mit einer Auflockerung des Periodontiums einhergehen. Der geringste elastische Widerstand auf der Kronenfläche eines Einzelzahnes liegt immer in der Nachbarschaft der Interdentalspalten bzw. Zahnlücken.

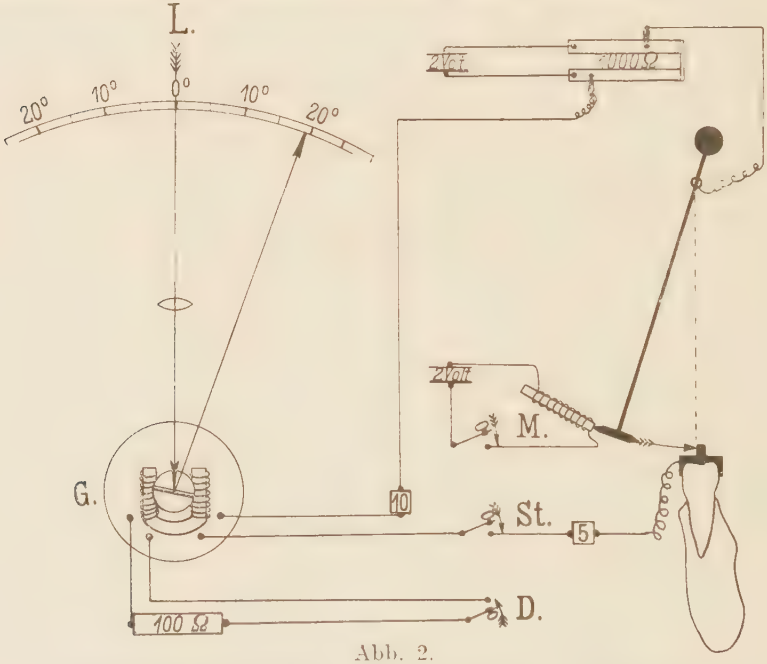

Abb. 2.
Versuchsanordnung zur Messung des Kippdruckes und senkrechten Druckes.

Die Zähne des Oberkiefers haben einen geringeren elastischen Widerstand als die des Unterkiefers. Dieses ist vielleicht daraus erklärbar, daß der Unterkiefer durch seine Gelenkverbindung an sich schon Ausweichmöglichkeiten bot, während der Oberkiefer das ruhende, feste Widerlager darstellt. Bei allen Teilen, die irgendwie aufeinander reiben oder miteinander Gelenke bilden, haben niemals beide den gleichen elastischen Widerstand [siehe Gelenke (Bär) und die Lager der Technik].

Eine Ausnahme machen im Unterkiefer II die Zähne VI, VII und VIII rechts. Hier liegen krankhafte Veränderungen des

Zahnbettes vor, wie ich mich durch Aufmeißelung des Kiefers überzeugte. Solche Abweichungen fand auch HEINROTH an erkrankten Zähnen Lebender, am stärksten bei Paradentose, die auch hier vorliegt.

Die Verteilung des elastischen Widerstandes über die Kaufläche eines Zahnes läßt bei Kiefer II eine große Regelmäßigkeit erkennen, bei Kiefer III dagegen nicht (siehe Abb. 3). Es liegen diese Punkte also individuell verschieden. Über die Bedeutung der

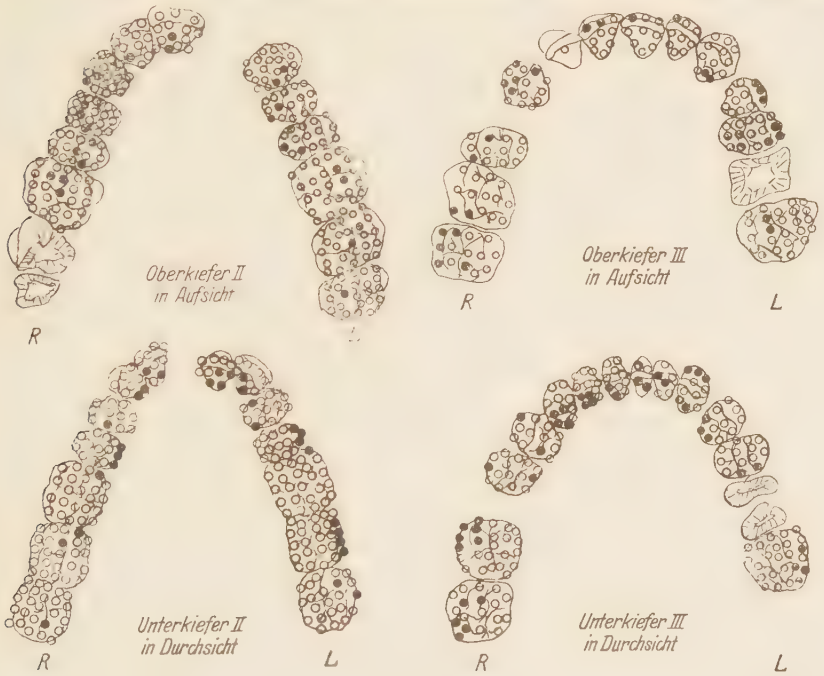

Abb. 3.
Zeichnung der Kauflächen mit Aufschlagpunkten des Pendels.

Lage dieser Punkte läßt sich nichts Sicheres aussagen. Man könnte vermuten, daß die verschiedenen Widerstände gegen Druck zusammen mit dem verschiedenen Kippdruck beim Molaren eine Bedeutung habe, da das Eingleiten von Höcker und Furchen beim Kauakt hierdurch erleichtert wird. Die Form der Zahnhöcker ist bei den untersuchten Kiefern II und III verschieden ausgebildet. Sie ist bei den Molaren des Kiefers II entsprechend dem geringen Überbiß der Schneidezähne (ca. 1 mm) sehr flach. Bei Kiefer III sind die Höcker ausgeprägt rundlich, entsprechend dem tiefen Überbiß der Frontzähne (ca. 3 mm).

Tabelle II. Messungen des senkrechten Druckes auf die Kauflächen des Kiefers II.

Rechte Hälfte. Oberkiefer in Aufsicht bukkal				lingual	Unterkiefer in Durchsicht bukkal				lingual	Zahn Nr.	Linke Hälfte. Unterkiefer in Durchsicht lingual				bukkal	Oberkiefer in Aufsicht lingual				bukkal
	8,5																			
5,9	8,0	5,7	7,6		fehlt					I	fehlt					fehlt				
4,9	4,8	2,5	3,4																	
3,7	4,3	4,0	2,5																	
						4,0						4,7	4,0							
6,1	—	3,9	6,9			6,0	4,1			II		1,8	1,8			fehlt				
4,0	2,9	3,9	3,6		4,7	3,3	2,1				1,0	1,1	1,6							
2,8	3,9	2,3	2,8		7,6	1,8	3,2				1,0	1,1	2,0							
2,9	3,6	4,2	3,3	3,3	2,1	2,0	1,2					1,8	1,8			6,3	7,5	6,3	4,2	3,4
3,3	2,7	2,9	3,0		2,1	2,0	0,8			III		1,3	1,6			5,9	3,7	4,2	4,3	2,5
3,3	2,2	3,5	2,8	3,3	3,3	3,4					1,1	1,6	2,2			6,6	5,7	2,3	1,8	2,2
2,2	3,5	2,9	3,5	3,7								3,0	2,5			5,6	4,3	1,2	2,0	4,5
2,2	2,2	2,4	4,2	7,4	3,7	4,7	2,3				5,3	1,2	1,8	1,5	1,9	1,8	2,3	4,9	6,5	10,5
2,3	1,9	2,2	2,9	5,0	3,5	2,0	2,0	2,2		IV	1,8	2,8	2,3	2,0	2,7	1,8	1,3	2,7	3,2	8,7
3,4	1,9	2,0	2,8		2,0	1,9	2,0	2,4			1,0	2,8	2,0	2,3	2,5	1,6	1,7	1,9	2,8	4,9
3,4	2,8	1,7	2,4	2,7																
2,0	2,8	2,8	2,6	3,2	2,0	2,8	2,2	2,2	1,2		1,9	2,2	2,2	0,8	1,0	2,6	2,0	6,9	3,6	8,9
2,9	2,9	2,6	2,7	3,5		4,5	2,1	1,9	1,0	V	1,3	2,7	2,2	3,6	0,8	1,8	2,1	2,2	3,4	9,6
3,3	3,6	2,8	2,6	3,2	2,0	2,5	2,2	1,8	0,8		1,3	3,8	2,1	2,0	0,8	2,1	2,0	2,2	2,1	3,0
11,0	4,0	6,8	2,1	3,6		11,0	11,0	3,7			5,6	5,6	3,6	3,8	1,8	10,4	10,4	4,1	4,3	2,7
3,0	1,6	1,8	2,9	4,9	10,0	7,0	6,4	14,3	5,1		5,5	3,2	3,6	4,0	3,3	6,6	12,6	2,7	2,0	2,5
6,0	2,8	1,8	2,6	3,3	11,9	10,8	11,5	9,9	8,5	VI	5,9	8,3	4,3	4,0	4,2	8,0	4,0	4,6	2,2	2,6
7,7	3,9	4,2	2,5	2,8	13,1	13,1	13,2	14,5	9,4		7,0	10,5	3,4	3,3	2,9	10,8	4,9	8,3	2,6	2,3
7,4	2,9	2,2	6,9	3,9	12,2	7,8	14,5	8,5	15,6		9,1	3,8	3,6	2,9	3,7	13,2	7,2	11,6	3,2	2,7
					9,1	9,3	5,2	4,2			5,8	4,5	4,3	4,0	2,4	9,8	2,9	2,4	2,2	3,5
					11,5	7,5	3,9	5,3	7,5		9,7	5,9	3,6	4,5	2,1	8,3	3,5	2,3	2,0	2,7
	Wurzelreste				13,2	5,9	12,0	4,3	6,3	VII	6,9	7,3	3,6	3,3	1,8	5,5	3,8	1,9	2,3	2,8
					11,5	8,7	11,0	5,5	4,2		13,6	10,2	3,6	2,2	2,1	6,9	4,5	2,3	2,5	3,0
					10,2	10,0	8,2	7,2	4,0		10,4	10,9	3,4	6,0	1,8	7,4	10,1	5,5	5,1	3,6
					5,2	11,3	9,3	8,0	3,0			4,0	4,4	2,2	2,3	4,3	4,1	8,7	8,3	2,7
					4,9	10,1	4,3	5,9	3,2		6,2	6,0	4,0	2,0	2,3	3,7	5,3	5,2	2,5	5,3
	Wurzelreste				5,7	10,4	9,3	4,0	7,3	VIII	9,6	4,6	3,4	3,9	2,1	3,8	2,0	6,7	2,5	3,2
					9,0	12,4	11,0	2,4	9,9		6,3	5,0	3,7	3,8	2,3		4,0	4,7	3,1	2,5
					11,0	9,4	11,2	8,3	4,3			8,4	4,2	4,0			3,8	8,0	6,3	

Tabelle III. Messungen des senkrechten Druckes auf die Kauflächen des Kiefers III.

Rechte Hälfte. bukkal	Oberkiefer in Aufsicht	lingual	bukkal	Unterkiefer in Durchsicht	lingual	Zahn Nr.	lingual	Unterkiefer in Durchsicht	bukkal	lingual	Oberkiefer in Aufsicht	bukkal Linke Hälfte.
5,6 17,0 18,0 4,0 6,8 14,0 4,0 7,3 17,0			1,4 2,3 2,3 2,0 1,4 2,3 2,5 0,9 3,6 1,2		I	1,1 2,1 1,3 1,7			9,8 3,8 2,3 7,0 6,4 4,3 10,2 8,0 10,4	
17,0 implantiert			1,0 5,6 1,8 3,2 1,0 2,8 0,7 0,7 1,0 1,3 0,7 0,7		II	1,0 2,0 1,2 1,9 1,3 1,9			10,5 9,8 3,4 12,5 9,6 7,9 8,0 7,0 10,2	
2,8 5,3 2,5 6,3 5,0 2,8 4,5 11,2 2,8 2,8 7,2 8,2 — 3,5 3,0 6,4			2,3 2,5 2,2 2,2 2,3 2,5 1,7 1,7 — 2,8 1,7 1,7		III	1,8 — — 1,2 1,2 2,0 1,8 1,2 1,6 2,0 2,0 1,2			7,0 14,0 6,7 5,6 2,8 4,7 7,8 4,6 2,8 7,8 6,9 6,4	
fehlt			1,8 2,7 7,6 2,8 2,0 2,4 3,2 2,0 3,3 2,0 1,8 2,0		IV	1,2 1,5 2,3 2,3 — 1,8 1,9 2,5 1,5 2,4 2,7 2,8			— 7,0 4,0 1,6 6,0 10,2 6,0 1,6 10,2 9,2 10,0 1,8	
4,0 2,4 6,0 7,5 3,3 6,2 6,2 9,5 2,2 9,0 5,0 7,5			2,5 2,0 3,9 2,1 1,5 2,2 2,8 1,8 2,2 1,5 1,0 3,5 2,8 1,8 4,8		V	3,2 3,6 3,0 2,2 2,2 2,3 2,8 2,2 2,2 2,3 3,7 1,5 1,2			7,0 4,0 4,3 5,7 4,2 4,2 3,0 2,0 3,6 3,8 1,5 2,0	
8,8 11,3 8,2 9,0 8,0 6,4 9,6 9,7 15,0 3,0 2,2 3,8 10,5 10,3			fehlt		VI	Wurzelreste			Wurzelreste	
1,3 1,4 6,8 4,5 7,8 1,3 6,0 3,3 18,0 1,3 3,3 1,2 8,0 11,5			1,0 1,0 2,8 4,1 9,0 0,8 0,8 2,8 2,1 2,1 0,8 0,8 2,6 2,3 3,0 2,2 2,2 1,8 1,8 4,9 2,2 5,7 1,5 1,6 3,7		VII	7,0 — 3,1 2,3 2,0 2,5 3,3 2,0 2,0 2,0 2,6 1,9 1,8 1,8 1,5 2,1 2,6 2,1 1,5 1,7 2,3 2,6 1,9 1,5 1,4			6,3 5,0 4,4 3,7 3,7 9,8 2,7 6,3 3,2 3,2 7,8 2,7 3,6 3,2 3,5 9,2 3,3 3,8 3,3 3,9 12,0 3,5 3,8	
			5,3 3,7 5,3 1,7 2,6 1,2 1,3 1,8 1,8 1,2 1,8 1,8 1,5 1,5 1,3 1,3 1,8 1,5 1,5		VIII					

Trotz dieser für die Funktion einschneidend erscheinenden Unterschiede liegen die Punkte höchsten Widerstandes, wie aus Abb. 3 ersichtlich ist, weder auf den höchsten Punkten der Höcker noch in den Furchen. Sie liegen bei den in Artikulation befindlichen Zähnen stets an den schrägen Flächen. Über die Verteilung dieser Punkte läßt sich keine Norm aufstellen. Nur in der Schlußbißstellung der Kiefer II und III findet man, daß die Punkte höchsten elastischen Widerstandes von Ober- und Unterkiefer sich nicht überdecken. Funktionell bedeutet das eine Schonung des Bandapparates der Zähne in der Ruhestellung. Wenn in der normalen Okklusionsstellung die Punkte höchsten Widerstandes sich decken würden, wären sie die einzigen Druckpunkte des Zahnes, die übrigen Oberflächenpunkte würden keine Rolle spielen, und die Belastung des Zahnes würde auf wenige Punkte konzentriert.

Die Zähne 1, 2, 3, 4 und 5 haben keine großen Elastizitätsschwankungen bei beiden Kiefern. Bei den Backenzähnen liegen die Punkte niedrigster Schwankung in der Mitte der Kaufläche. Wenn man eine Zahnlücke überbrückt, verlagern sich die Punkte mit größtem elastischen Widerstand auf den beiden Pfeilerzähnen.

Die Gegenüberstellung der Zähne von Ober- und Unterkiefer in der Okklusion läßt keinen Zusammenhang der Elastizitätsschwankungen mit der Stellung der Wurzelspitze zur Kaufläche erkennen. Die mehrwurzeligen Zähne weisen allerdings im Vergleich mit den einwurzeligen geringere Schwankungen auf.

Zahn 1 im rechten Oberkiefer ist durch Schlag gelockert und Zahn 2 durch einen Schlag gelöst. Zahn 2 stellt also einen reimplantierten Zahn dar. Hier ist der elastische Widerstand, der nur an einer Stelle meßbar war, äußerst gering. Da in diesem Falle die Periodontiumfasern zerrissen sind, kann hier also keine Längsspannung von Fasern stattfinden, sondern nur eine Querkompression des Periodontiums eintreten. Es wäre zu erwägen, ob nicht normalerweise beim Kaudruck auch eine primäre Querkompression der schräg gerichteten Periodontiumfasern eine Rolle spielt.

Die Zähne mit Paradentose enthalten auch Stellen mit sehr geringem elastischen Widerstand.

Zusammenfassung.

Es wurde versucht, die Elastizität des Bandapparates der Zähne zu messen. Nach einigen Vorversuchen wurde ein Apparat benutzt, der nach dem Vorbilde des Gildemeisterschen ballisti-

schen Elastometers konstruiert wurde. Die Zähne wurden zunächst auf Kippdruck von bukkal nach lingual und darnach auf senkrechten Druck zur Kaufläche gemessen.

Es wurde festgestellt, daß die Eckzähne die niedrigsten Kippwerte hatten, also einer Kippung nach lingual den größten Widerstand entgegensetzten. Es ist das verständlich aus ihrer Funktion als Reißzahn.

Die oberen Schneidezähne haben nach lingual den geringsten elastischen Widerstand, sie werden in dieser Richtung viel weniger stark beansprucht als bukkalwärts.

Die Unterkieferzähne setzen der gleichen Kippung einen größeren Widerstand entgegen. Sie werden auch gerade durch den Überbiß besonders nach lingual stark beansprucht.

Die Backenzähne im Unterkiefer kippen nach lingual stärker als im Oberkiefer, es fehlt ihnen die lingual gelegene Stütze, welche die Oberkieferzähne in Gestalt der dritten Wurzel besitzen.

Bei den Messungen auf senkrechten Druck konnte festgestellt werden, daß Zähne ohne Gegenbiß den geringsten elastischen Widerstand aufweisen. Diese Zähne werden weniger beansprucht und werden sogar erfahrungsgemäß länger. Hierbei müssen im Zahnbett Umbauten stattfinden, die offenbar mit einer Auflockerung des Periodontiums einhergehen.

Die Zähne im Oberkiefer sind elastischer als die im Unterkiefer. Sie können mithin leichter ausweichen. Es bewahrheitet sich hier in übertragenem Sinn der Ausdruck der Technik: „Gleichharte Körper reiben nicht aufeinander."

Zähne mit Paradentose haben geringen elastischen Widerstand, ebenfalls durch Schlag gelockerte oder reimplantierte lose Zähne.

Die Punkte des höchsten elastischen Widerstandes auf der Kaufläche liegen individuell verschieden. Über die Bedeutung der Lage dieser Punkte läßt sich nichts Sicheres aussagen. Es wird vermutet, daß die verschiedenen Widerstände gegen Druck zusammen mit dem verschiedenen Kippdruck beim Molaren die Bedeutung haben, das Eingleiten von Höcker und Furchen beim Kauakt zu erleichtern. Es liegen hier höchstwahrscheinlich feinere Anpassungen an den Kauakt vor.

Die Zähne 1, 2, 3, 4 und 5 haben keine großen Elastizitätsschwankungen.

Bei den Backenzähnen liegen die Punkte niedrigster Schwankung in der Mitte.

Der geringste elastische Widerstand liegt in der Nachbarschaft der Interdentalspalten.

Das Periodontium eines Zahnes muß in sich nach verschiedenen Richtungen hin ungleich sein, da es nicht nach allen Richtungen hin, die normalerweise überhaupt in Frage kommen, einen gleich großen elastischen Widerstand besitzt.

In Richtung der stärksten Beanspruchung liegt der größte elastische Widerstand.

Herrn Professor Benninghoff möchte ich für Überlassung des Themas und für die freundliche Unterstützung bei der Ausarbeitung meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Literaturverzeichnis.

Bach, C., Elastizität und Festigkeit. Berlin 1902. Verlag Springer.
Bär, E., Elastizitätsprüfungen der Gelenkknorpel. Diss. Kiel 1926.
Fick, Anatomie und Mechanik der Gelenke. Jena 1904.
Gildemeister, Über die sogenannte Härte tierischer Gewebe und ihre Messung. Zeitschr. f. Biologie, Bd. 63, S. 175. 1914.
Göcke, C., Die Physik des atrophischen Knochens. Zeitschr. f. Orthopädie. Kongr.-Verhandlungen 1928.
—— Kolloidchem. Untersuchungen am normalen u. arthritischen Gelenkknorpel. Zeitschr. f. Orthopädie. Kongr.-Verhandlungen 1929.
Gyri und Bruhn, Handbuch der Zahnheilkunde, Bd. III.
Heinroth, Fortschritte der Zahnheilkunde, Bd. 5. 1929.
Mühlreiter, E., Anatomie des menschlichen Gebisses. 5. Aufl. 1928.
Müller, M., Grundlagen und Aufbau des Artikulationsproblems im natürlichen und künstlichen Gebiß. 1921.
Müller, Die Gewebsspannung im Kieferknochen. Dtsch. Monatsschrift f. Zahnhlkd., Heft 9. 1915.
Köhler, L., Versuch, die Gesetze der Statik und Mechanik in die Betrachtung der Physiologie und die Form des menschlichen Gebisses einzuführen. Dtsch. Monatsschr. f. Zahnhlkd., Heft 23. 1921.
Nauck, Die Wellung der Sehnenfasern, ihre Ursache und ihre funktionelle Bedeutung. Morph. Jahrbuch, Bd. 68. 1931.
Öhrlein, Belastungsmöglichkeiten des menschlichen Gebisses. Zahnärztl. Rdschau, Heft 28/29. 1931.
Port-Euler, H., Lehrbuch der Zahnheilkunde. München 1929. Verlag Bergmann.
Schade, H., Untersuchungen zur Organfunktion des Bindegewebes. Zeitschr. f. exp. Path. u. Ther. XI. 1912.
—— Physikalische Chemie in der inneren Medizin. 3. Aufl. Verlag Steinkopff.
Winkler, Der funktionelle Bau des menschlichen Kieferapparates. Dtsch. Zahnhlkd., Heft 55. 1912.

Printed in Germany.